



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA OFDM DE TRANSMISIÓN
Y RECEPCIÓN INALÁMBRICA DE IMAGEN A TRAVÉS DE
MODULACIÓN QPSK Y 8PSK”**

**EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO
INFORME DE PROYECTO**

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Ing. Saúl Ignacio Ashqui Pagalo

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ph.D. Boris Ramos y a la Ing. Maricela Freire, por su apoyo y capacidad para guiar mis ideas, ellos han sido un aporte importante en el desarrollo de este trabajo, y a los evaluadores Ph.D. Rebeca Estrada y M.Sc. Miguel Molina por las atenciones brindadas para la presentación del proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, porque ellos siempre están a mi lado brindándome su apoyo incondicional e invaluable, ellos son el motor que alientan mi ser.

A mis hermanos por confiar siempre en mí, su compañía y palabras de ánimo han sido fundamentales en mi vida.

Sobre todo y en especial a Dios por su gran amor e infinita fidelidad, su gracia y perdón le han dado sentido a mi vida, sus misericordias que son nuevas cada mañana me han permitido cumplir con mis metas.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ph.D. Rebeca Estrada

EVALUADOR



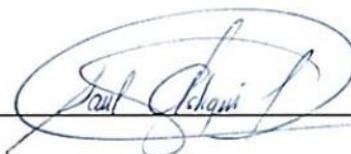
M.Sc. Miguel Molina

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Art. 12 del Reglamento de Graduación.



Saul Ignacio Ashqui Pagalo

C.I.: 0604044370

RESUMEN

Este artículo se basa en el desarrollo de la práctica 9 del Seminario de Simulación aplicada a las Telecomunicaciones [1], sobre Modulación OFDM y Ecuación en el dominio de la frecuencia. Se busca enfocar principalmente en la aplicación de la técnica de Radio Definido por Software utilizando los NI USRP y el software LabVIEW. El sistema implementado cuenta con bloques de procesamiento digital de señales necesarias para operar un enlace de comunicación inalámbrica digital, los mismos que fueron afectados por ruido Gaussiano (AWGN) y por un canal ISI, para nuestro fin se transmite imagen. La información transmitida es cifrada por medio de un encriptador y enviado a través del canal de comunicación, mediante modulación digital QPSK y 8PSK, en el receptor se realiza el proceso de descifrado y recuperación de la información original. En el sistema de comunicación se implementó la codificación convolucional, con variación de las tasas de codificación, y la sincronización de frecuencia y trama. En esta experiencia se evalúa la tasa de error binaria (BER) versus la relación de potencias de señal a ruido (SNR), con y sin codificación de canal. Se obtienen las curvas BER vs SNR, se analiza el comportamiento que tiene de acuerdo a las modulaciones QPSK y 8PSK, y el rendimiento máximo de la tasa de bit al punto máximo donde la imagen no se distorsiona.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA.....	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
ABREVIATURAS	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. MARCO TEORICO	13
1.1. MODULACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIAS ORTOGONALES (OFDM)....	13
1.2. SISTEMA DE COMUNICACIONES.....	14
1.3. CANAL MULTICAMINO	15
1.3.1. Desvanecimiento selectivo en frecuencia	16
1.3.2. Desvanecimiento Plano.....	17
1.4. MODULACIÓN DIGITAL.....	17
1.4.1. Modulación QPSK.....	17
1.4.2. Modulación 8-PSK	18
1.5. CODIFICACION DE CANAL	19
1.6. SINCRONIZACION DE TRAMA	21
1.6.1. Sincronizador de trama Schmidl & Cox.....	21
1.7. ENCRIPCIÓN DE DATOS	22
1.8.1. Canal AWGN (Additive White Gaussian Noise).....	23
1.8.2. Canal ISI.....	24
1.9. IMPLEMENTACIÓN	26
2. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	30
2.1. RESULTADOS PARA LA MODULACIÓN QPSK Y 8PSK	37
2.2. RESULTADOS PARA LA MODULACIÓN QPSK Y 8PSK CON DIFERENTES TASAS DE CODIFICACIÓN.....	38
2.3. RESULTADOS PARA LA MODULACIÓN QPSK Y 8PSK CANAL B.....	39
2.4 RESULTADOS PARA LA MODULACIÓN QPSK CON TASA DE BIT R_b VS SNR.....	39
CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	44

ABREVIATURAS

AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
ISI	Interferencia Intersimbólica
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SNR	Signal to Noise Ratio
USRP	Universal Software Radio Peripheral

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DISEÑO DE TRANSMISIÓN	14
FIGURA 2: DISEÑO DE RECEPCIÓN	15
FIGURA 3: ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL VS. ANCHO DE BANDA DEL CANAL.....	16
FIGURA 4: ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL VS. ANCHO DE BANDA DEL CANAL.....	17
FIGURA 5: CONSTELACIÓN QPSK	18
FIGURA 6: CONSTELACIÓN 8-PSK.....	19
FIGURA 7: CONSTELACIÓN DE LA MODULACIÓN 8PSK [6]	19
FIGURA 8: PUERTA OR EXCLUSIVA [10]	22
FIGURA 9: PERFIL DE POTENCIA DE RETARDOS DEL CANAL INDOOR A.....	23
FIGURA 10: PERFIL DE POTENCIA DE RETARDOS CANAL A.....	25
FIGURA 11: PERFIL DE POTENCIA DE RETARDOS CANAL B	26
FIGURA 12: DIAGRAMA DE LOS VIS DEL TRANSMISOR.....	27
FIGURA 13: DIAGRAMA DE LOS VIS DEL RECEPTOR	28
FIGURA 14: RESPUESTA DEL CANAL REAL.....	31
FIGURA 15: RESPUESTA DEL CANAL A	31
FIGURA 16: RESPUESTA DEL CANAL B.....	32
FIGURA 17: IMAGEN ORIGINAL TRANSMITIDA.....	32
FIGURA 18: RECEPCIÓN DE IMAGEN MODULACIÓN QPSK SIN RUIDO.....	33
FIGURA 19: RECEPCIÓN DE IMAGEN MODULACIÓN QPSK CON RUIDO.....	33
FIGURA 20: RECEPCIÓN DE IMAGEN MODULACIÓN 8PSK SIN RUIDO	34
FIGURA 21: RECEPCIÓN DE IMAGEN MODULACIÓN 8PSK CON RUIDO	34
FIGURA 22: BER VS SNR. RESULTADO SIMULADO-REAL QPSK Y 8PSK CON CODIFICACIÓN 1/2.	35
FIGURA 23: BER VS SNR. RESULTADO SIMULADO-REAL CANAL A QPSK Y 8PSK CON CODIFICACIÓN 1/2.	36
FIGURA 24: BER VS SNR. RESULTADO SIMULADO-REAL CANAL B QPSK Y 8PSK CON CODIFICACIÓN 1/2.	36
FIGURA 25: BER VS SNR. RESULTADO QPSK Y 8PSK.....	37
FIGURA 26: BER VS SNR. RESULTADO QPSK Y 8PSK CON CODIFICACIÓN.....	38
FIGURA 27: BER VS SNR. RESULTADO QPSK Y 8PSK EN DIFERENTE CANALES.....	39
FIGURA 28: RB VS SNR. RESULTADO QPSK Y 8 PSK CON CODIFICACIÓN DE ½.....	40

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: MAPEO DE BITS A SÍMBOLOS QPSK.....	18
TABLA 2: CANALES INDOOR - RESIDENCIALES.	24
TABLA 3: DESCRIPCIÓN DE LOS VIS EN EL TRANSMISOR	28
TABLA 4: DESCRIPCIÓN DE LOS VIS EN EL RECEPTOR	29

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, estamos inmersos en lo que se denomina revolución tecnológica de las comunicaciones inalámbricas, siendo la Multiplicación por División Ortogonal en Frecuencia (OFDM) una tecnología de comunicación inalámbrica de gran importancia. En los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos reales, el canal no presenta condiciones ideales y perfectas de transmisión, y se presentan muchos problemas en la recepción correcta y eficaz de la información enviada. Estos problemas, tales como, atenuación, desplazamiento de fase y retardos de propagación, deben ser mitigados con el desarrollo de algoritmos y otras técnicas que deriven en soluciones óptimas. OFDM aparece como una fórmula para eliminar los problemas que presentan los medios dispersos como los canales multitrayecto sin necesidad de utilizar un hardware excesivamente complejo. OFDM presenta una alta eficiencia espectral, resistencia a la interfaz RF y menor distorsión multitrayecto [2].

Como se mencionó anteriormente, el entorno principal del presente proyecto es la transmisión y recepción de imágenes, para lo cual usaremos del Universal Software Radio Peripheral (USRP) modelo 2920, este es un hardware programable de gran importancia para el desarrollo académico e investigativo.

La plataforma o software a usar en conjunto con el USRP se llama Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabView). Con un lenguaje de programación gráfica nativo, IP integrado para análisis de datos y procesamiento de señales y una arquitectura abierta que permite la integración de cualquier dispositivo de hardware y cualquier enfoque de software, LabVIEW es el software que permitirá desarrollar la solución óptima y poder cumplir con la implementación del presente proyecto.

El procedimiento para realizar este proyecto, sería básicamente enfocarse a expandir el sistema OFDM desarrollado en las prácticas del Seminario de Simulación aplicada a las Telecomunicaciones, para el diseño e implementación de sistemas de transmisión y recepción inalámbrica, los primeros bloques a realizar serán los de manipulación y adquisición de imágenes, tanto en el transmisor como en el receptor, utilizando modulaciones QPSK y 8PSK, mediante el mapeo de símbolos para los dos tipos de modulaciones, y adaptar al Modulador en el transmisor, y Demodulador en el receptor. Generalmente los sistemas de comunicaciones inalámbricas tienen tasas de velocidad muy elevadas, por motivo de la demanda y requerimientos de servicios, estos factores generan un problema común en dichos sistemas llamado multitrayectoria, el cual puede producir múltiples problemas al momento de recibir la señal, por un desvanecimiento de la misma. Por lo cual nos lleva a buscar un algoritmo de sincronización de

trama, para nuestro caso aplicaremos el algoritmo de Schmidl & Cox, que es aplicado para sistemas de múltiples portadoras.

Finalmente, se tiene un Análisis de Resultados, en los cuales se compara el comportamiento de un sistema de comunicaciones inalámbricas en un ambiente indoor real (canal real) y ambiente outdoor (canal A y B), con/sin codificación de canal variando la tasa de codificación.

1. MARCO TEORICO

En este capítulo se hace una breve introducción de lo que es un sistema de comunicación inalámbrica, los elementos que componen el sistema como son los ecualizadores, secuencias de entrenamiento, métodos de modulación, técnicas de compresión y codificación utilizada para la transmisión de audio y el medio por donde se trasmite la información, es decir, los diferentes canales que se van a emular.

1.1. MODULACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIAS ORTOGONALES (OFDM)

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) es un método de modulación donde el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total, el cual se divide en N subcanales. Cada subcanal se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia. A fin de evitar un gran número de moduladores y filtros en el transmisor, así mismo como filtros complementarios y demoduladores en el receptor, se utiliza modernas técnicas de procesamiento digital de señales tal como la transformada rápida de Fourier. Para generar OFDM se deben tener en cuenta varios parámetros como son: el número de subportadoras, el esquema de modulación y el intervalo de guarda a utilizar.

El número de subportadoras N se determina basándose en el ancho de banda del canal, la velocidad de los datos y la duración de símbolo útil. Las portadoras están separadas por el inverso de la duración del símbolo útil:

$$N=1/T \quad (1)$$

El número de portadoras corresponde al número de puntos complejos que son procesados por la FFT. Se pueden utilizar subportadoras del rango de varias miles, así como ajustar la velocidad de datos y el intervalo de guarda dependiendo de la aplicación.

1.2. SISTEMA DE COMUNICACIONES

Básicamente, estos sistemas, consisten en una serie de transmisores y un dispositivo receptor que no ocupan el medio físico para realizar la transmisión de información. Todos los elementos que componen el sistema inalámbrico están codificados de modo de responder solo al receptor apareado y no recibir interferencia de otros dispositivos que estén en las cercanías. En este tipo de sistemas es necesario comprobar el alcance óptimo de la señal para asegurar una cobertura completa.

Para el caso del presente proyecto el diseño del transmisor y receptor se encuentra definido como se ilustran las figuras 1 y 2 respectivamente:

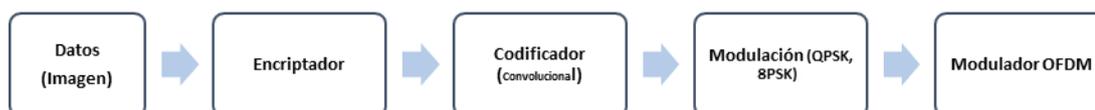


Figura 1: Diseño de Transmisión



Figura 2: Diseño de Recepción

1.3. CANAL MULTICAMINO

El canal multicamino, señal propagada por múltiple caminos, provoca distorsión y desvanecimiento de la señal en recepción formada por la interacción de las diferentes señales que han viajado por caminos distintos. La propagación multicamino tiende a producir una interferencia intersimbólica en el canal digital, provocando una superposición entre los símbolos al momento de recibir la señal propagada.

El desvanecimiento multicamino es el resultado de los siguientes parámetros [3]:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2)$$

Donde $P(\tau_k)$ es la potencia del impulso retardado y τ_k el tiempo de retardo.

Retardo de propagación rms:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (3)$$

Siendo el segundo momento:

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (4)$$

Lo cual el ancho de banda coherente puede ser representado como:

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_{\tau}} \quad (5)$$

A continuación se menciona dos tipos de desvanecimientos a pequeña escala:

1.3.1. Desvanecimiento selectivo en frecuencia

Si $B_s > B_c$, el canal se distorsiona, no conserva el espectro de la señal transmitida y se le denomina CANAL SELECTIVO EN FRECUENCIA, es causado por la interferencia entre uno o más rayos de la atmósfera [4].

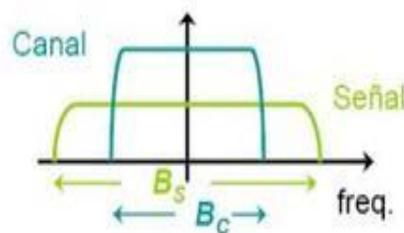


Figura 3: Ancho de banda de la señal vs. Ancho de banda del canal

1.3.2. Desvanecimiento Plano

Si $B_s < B_c$, el canal conserva el espectro de la señal transmitida ya que trata todas las frecuencias por igual y se le denomina CANAL NO SELECTIVO EN FRECUENCIA o "flat fading".

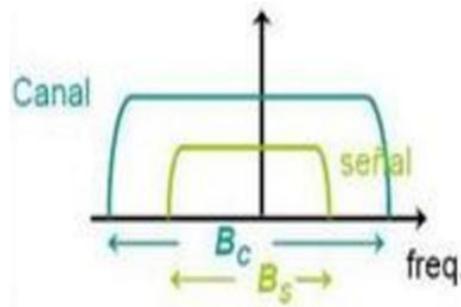


Figura 4: Ancho de banda de la señal vs. Ancho de banda del canal

1.4. MODULACIÓN DIGITAL

La modulación consiste en el proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia. Las modulaciones implementadas para el desarrollo del proyecto son de transmisión por desplazamiento de fase QPSK y 8PSK.

1.4.1. Modulación QPSK

Esta modulación consiste en un tren de datos a transmitir en pares de bits consecutivos llamados Dibits, codificando cada bit como un cambio de fase con respecto al elemento de la señal anterior [5].

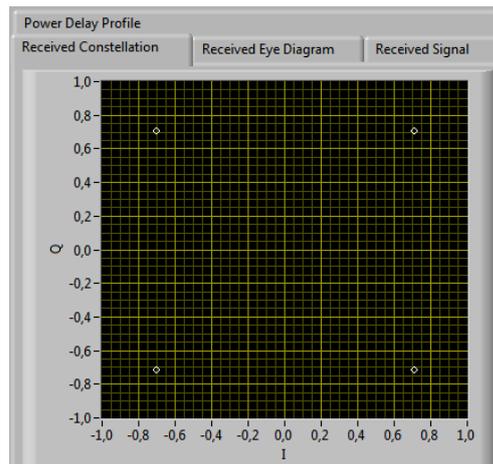


Figura 5: Constelación QPSK

Tabla 1: Mapeo de bits a símbolos QPSK

Código de bits	Símbolos
00	$1+i$
10	$-1+i$
11	$-1-i$
01	$1-i$

1.4.2. Modulación 8-PSK

Esta modulación consiste en utilizar un grupo de 3 bits por símbolos llamados tribits, desplazados entre sí 45° .

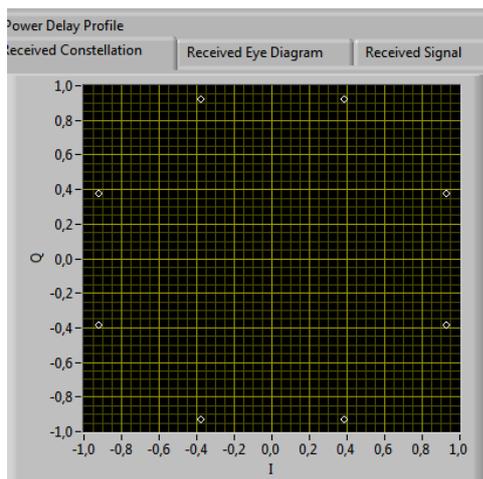


Figura 6: Constelación 8-PSK

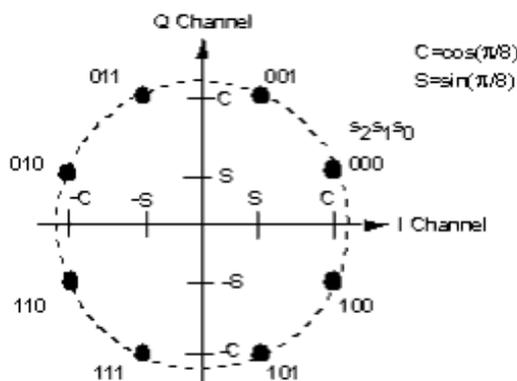


Figura 7: Constelación de la modulación 8PSK [6]

1.5. CODIFICACION DE CANAL

En el presente proyecto se usó la codificación Convolutiva, mediante el cual se busca por medio de redundancias detectar y corregir pérdidas de información de transmisión en el sistema, este tipo de códigos son adecuados para ser usados sobre un canal que presenta ruido. [7]

El código convolucional es una técnica de código de detección de errores donde el codificador acepta bloques de k símbolos de la secuencia de bits de información y produce una secuencia codificada de bloques de n bits (donde $n > k$) llamada palabra de código. El codificador convolucional tiene memoria y por lo tanto sus n salidas en cualquier unidad de tiempo dada no depende de sus k entradas en esa unidad de tiempo, sino también de m bloques de entrada previos. Se dice entonces que el codificador convolucional tiene una memoria de orden m .

La razón adimensional $R=k/n$ se conoce como tasa de código y la cantidad $n(m+1)$ se conoce como longitud de restricción del código. La codificación convolucional se realiza básicamente mediante el uso de un registro de desplazamiento y una lógica combinacional encargada de la realización de la suma en módulo 2. El registro de desplazamiento está implementado mediante la concatenación de una serie de flaps-flops, de manera que cada vez que llega un ciclo de reloj, el dato que tenemos a la entrada de un flip-flop pasa a su salida y se sitúa por tanto en la entrada del siguiente flip-flop, que ha hecho lo propio con el dato que tenía en su entrada cuando llegó el ciclo de reloj. En cuanto a la lógica combinacional que realiza la suma en módulo 2, basta con utilizar puertas XOR.

Con ayuda de los Vis de LabView se implementó el MT Convolutional Encoder y el MT Convolutional Decoder. Con tasas de codificación $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$, longitud de código 4.

1.6. SINCRONIZACION DE TRAMA

La sincronización de trama nos permite resolver los múltiples retardos en los periodos de símbolos, determinando la estructura de la trama, ubicado al inicio de la misma y evita pérdidas de información por el desfase de la señal.

Para el presente proyecto se usa el algoritmo de Schmidl & Cox, el cual es adecuadamente para sistemas OFDM, donde la secuencia de entrenamiento a usar es la secuencia IEEE 802.11.a Short Training Sequence.[8]

1.6.1. Sincronizador de trama Schmidl & Cox

Timothy M. Schmidl y Donald C. Cox presentaron un método robusto de sincronización aplicado a un sistema OFDM, en donde aprovechaban una secuencia de entrenamiento muy larga para realizar la búsqueda de inicio de trama. [9]

A continuación el desarrollo del algoritmo:

- Cálculo de la correlación métrica

$$R[d] = \sum_{n=0}^{N-1} y^* [n + d] y [n + d + w] \quad (6)$$

- Cálculo del promedio de la potencia de la señal recibida:

$$P[d] = \sum_{n=0}^{N-1} |y[n + d + w]|^2 \quad (7)$$

- Luego de obtener $R[d]$ y $P[d]$, calculamos $M[d]$:

$$M[d] = \left| \frac{R[d]}{P[d]} \right|^2 \quad (8)$$

- El retraso d es aproximado con $M[d]$:

$$d = \operatorname{argmax} M[d] \quad (9)$$

- El parámetro de desplazamiento de frecuencia es estimado:

$$\varepsilon = \operatorname{phase} R[d]P[d] \quad (10)$$

1.7. ENCRIPCIÓN DE DATOS

Para cifrar la información transmitida en este proyecto se usó un algoritmo de cifrado basado en el operador binario XOR.

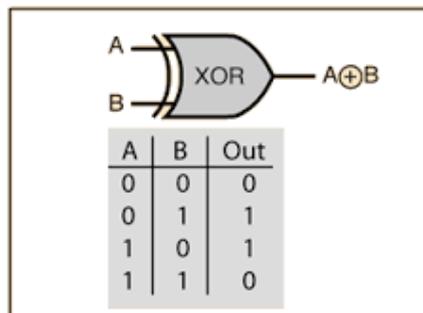


Figura 8: Puerta OR exclusiva [10]

Mediante la puerta lógica OR-exclusiva, más conocida por su nombre en inglés XOR, el mensaje es cifrado aplicando el operador de bit XOR sobre cada uno de los caracteres utilizando una palabra clave.

Para descifrar el mensaje se procede a aplicar nuevamente el operador XOR con la misma clave, siempre y cuando la palabra clave sea la correcta.

1.8. MODELAMIENTO DEL CANAL

En el presente proyecto se analiza el canal AWGN e ISI.

1.8.1. Canal AWGN (Additive White Gaussian Noise)

El canal AWGN es uno de los modelos matemáticos más simples para varios canales de comunicación. Un canal AWGN añade ruido gaussiano blanco a la señal que pasa a través de él. Regularmente en un sistema de comunicación se asume que la señal transmitida es alterada por algún tipo de ruido. El ruido más común que se asume es el ruido aditivo Gaussiano, también conocido como el canal de ruido aditivo blanco Gaussiano (AWGN). Se considera que el ruido tiene una densidad espectral de potencia constante sobre el ancho de banda del canal.

En nuestra simulación se realizó la transmisión y recepción a distancia de 1 metro, para luego poder obtener el Power Delay Profile .

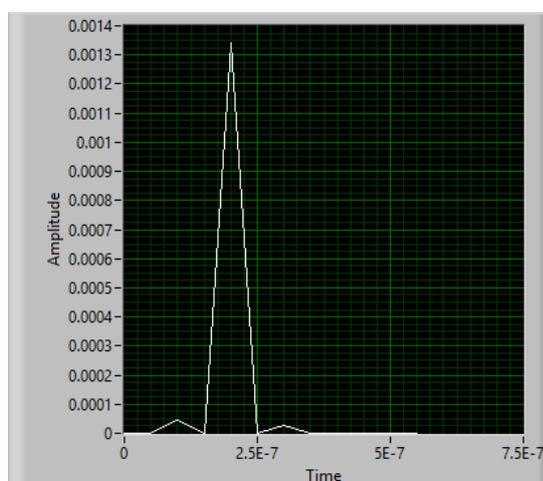


Figura 9: Perfil de potencia de retardos del canal Indoor A.

1.8.2. Canal ISI

Para transmitir una señal digital, no importa que código de línea usemos, se necesita un canal de ancho de banda infinito. Sin embargo, sabemos que esto no es posible, el canal práctico tiene ancho de banda finito, por lo tanto los pulsos se "chorrearán" o "dispersarán" y hará que estos entorpezcan la decisión sobre los bits vecinos.

Un desvanecimiento selectivo en frecuencia, incrementa la interferencia entre símbolo; donde un símbolo recibido, sobre un cierto periodo de tiempo, experimenta interferencia sobre otros símbolos que han sido retrasados debido al efecto multicamino. Ya que si se incrementa la potencia de la señal, también se incrementa la potencia ISI, este incremento conlleva a un irreducible nivel de error, el cual es independiente del nivel de ruido.

En nuestra simulación se utilizó el siguiente modelamiento para el canal ISI mostrado en la Tabla 2:

Tabla 2: Canales Indoor - Residenciales.

Canal A			Canal B		
Pasos	Retardo (μ sec)	Potencia Promedio (dB)	Pasos	Retardo (μ sec)	Potencia Promedio (dB)
1	0	0	1	0	0
2	0.2	-2	2	0.1	-4
3	0.4	-10	3	0.2	-8
4	0.6	-20	4	0.3	-12
			5	0.4	-16
			6	0.5	-20

De acuerdo a los datos de la Tabla 1, nos facilita los datos que serán ingresados al Canal ISI de proyecto. Para poder ingresar la respuesta del

canal se necesita obtener la respuesta del canal en forma compleja ($a+bi$), de acuerdo a la siguiente formula:

$$(a + bi) = \sqrt{P} \cos(2\pi f_c \tau) + \sqrt{P} \operatorname{sen}(2\pi f_c \tau) \quad (11)$$

Siendo:

f_c : Frecuencia de portadora

τ : Retardo en microsegundos

\sqrt{P} : Amplitud de la potencia en watts

$$\sqrt{P} = \sqrt{10 \log_{10} \frac{\text{Avg Power}(dB)}{10}} \quad (12)$$

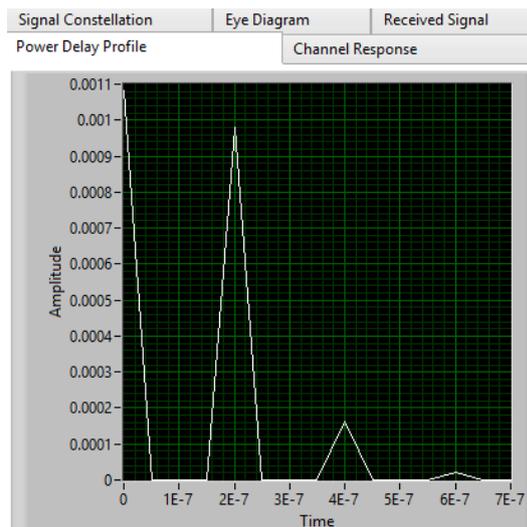


Figura 10: Perfil de potencia de retardos canal A

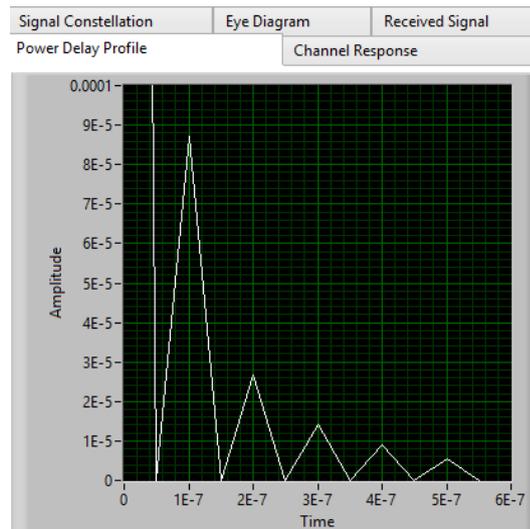


Figura 11: Perfil de potencia de retardos canal B

1.9. IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación de la expansión del sistema OFDM del presente proyecto se utilizaron los siguientes VIs para la transmisión como para la recepción, como se muestra en las figuras 12 y 13 y detallados en la Tabla 3 y 4 respectivamente.

Con la implementación lista se procedió a realizar pruebas en tiempo real para posteriormente analizar el comportamiento del sistema.

En el transmisor se encuentra los siguientes VIs:

1. Trx_Imagen.vi
2. Codificación Convolutacional
3. Studen_modulate_SA
4. Studen_OFDM_modulator_SA

En el receptor se encuentra los siguientes VIs:

1. Studen_OFDM_demodulator_SA
2. Studen_decode2_SA
3. Decodificación Convolutiva
4. Rx_Imagen.vi

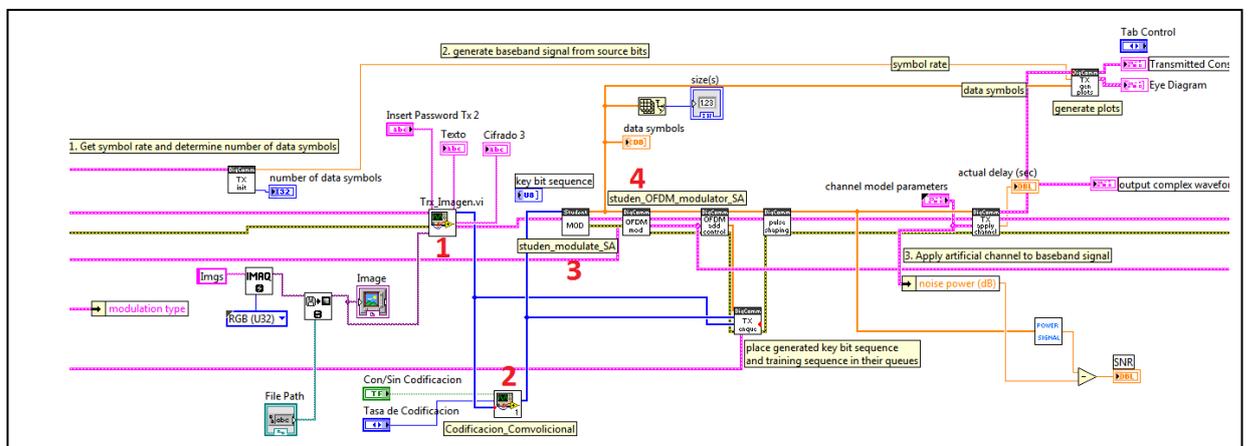


Figura 12: Diagrama de los VIs del transmisor

Tabla 4: Descripción de los VIs en el receptor

Nombre del VI	Descripción
<i>Studen_OFDM_demo dulator_SA</i>	Realiza la demodulación OFDM
<i>Studen_decode2_SA</i>	Realiza la demodulación (QPSK / 8PSK) y permite la salida en bits codificados en la etapa de transmisión
<i>Decodificación Convolucional</i>	Permite la decodificación de los bits para obtener la información
<i>Rx_Imagen.vi</i>	Los bits que ingresan son ajustados para reconstruir la imagen transmitida

2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para esta investigación, con los bloques de transmisión y recepción desarrollados e implementados en el sistema, se procedió a analizar los siguientes puntos:

- Comparar la calidad de la imagen recibida versus la imagen original utilizando las dos modulaciones de este estudio y variando la tasa de codificación convolucional.
- Para analizar de mejor forma el comportamiento de cada canal se ha considerado graficar la tasa de error de bit vs la relación de señal a ruido (BER vs SNR), tanto en simulación como en transmisión real.
- Analizar los resultados obtenidos al variar la tasa de bits RB vs. SNR.

A continuación en las figuras 14, 15 y 16 se muestra la respuesta de canal tanto real como canal A y canal B.

Para la figura 14 se considerando una velocidad de transmisión 20 Mbps y con un factor de sobre muestreo de 2M con un canal AWGN.

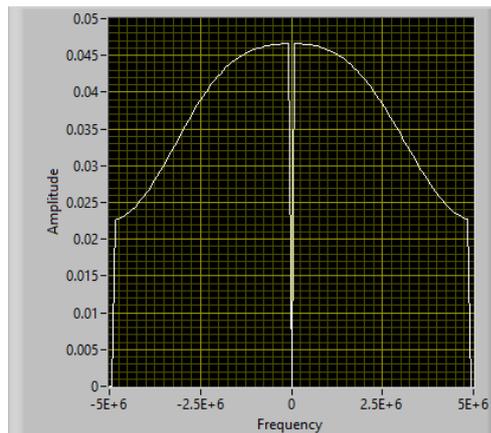


Figura 14: Respuesta del canal real

En la la figura 15 se tiene contemplado una velocidad de transmisión 20 Mbps y con un factor se sobre muestreo de 4M con un canal ISI.

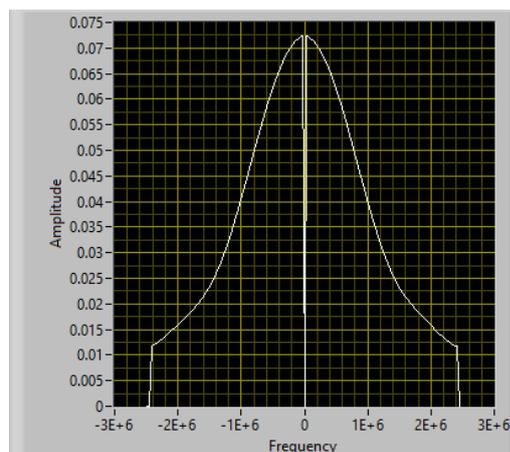


Figura 15: Respuesta del canal A

Para la figura 16 se considerando una velocidad de transmisión 20 Mbps y con un factor se sobre muestreo de 2M con un canal ISI.

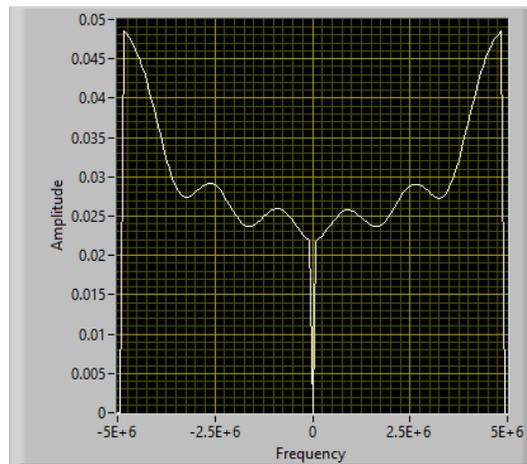


Figura 16: Respuesta del canal B

La figura 17 corresponde a la imagen original que es transmitida para nuestras pruebas.

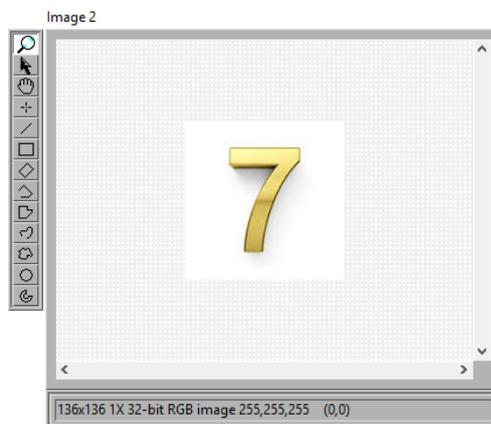


Figura 17: Imagen original transmitida

La siguiente prueba corresponde a la transmisión de imagen con modulación QPSK y tasa de codificación de canal $\frac{1}{2}$ como se muestra en la figura 18, con variación de niveles de ruido alto hasta ver una distorsión de la imagen.

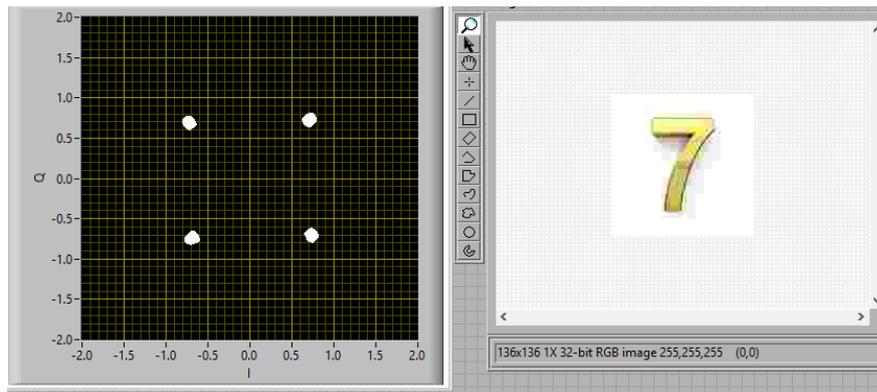


Figura 18: Recepción de Imagen Modulación QPSK sin ruido

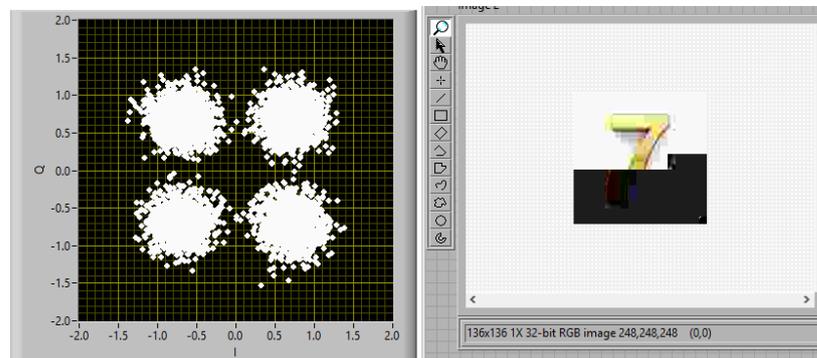


Figura 19: Recepción de Imagen Modulación QPSK con ruido

Para esta prueba procedemos a transmitir una imagen con modulación 8PSK y tasa de codificación $\frac{1}{2}$ como muestra en la figura 20, observamos la recepción de la imagen sin ruido y variando el ruido hasta obtener una distorsión de la imagen figura 21.

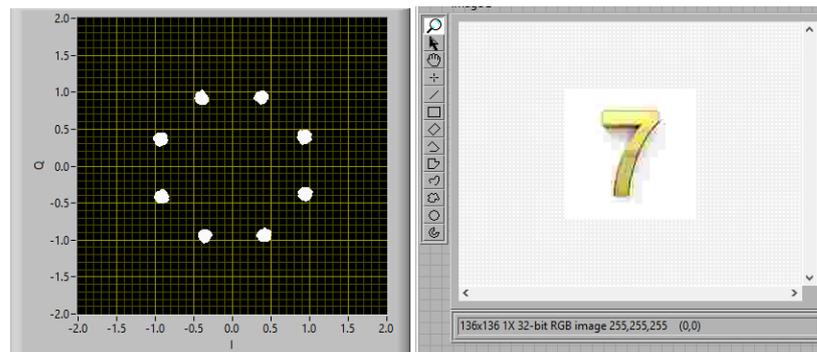


Figura 20: Recepción de Imagen Modulación 8PSK sin ruido

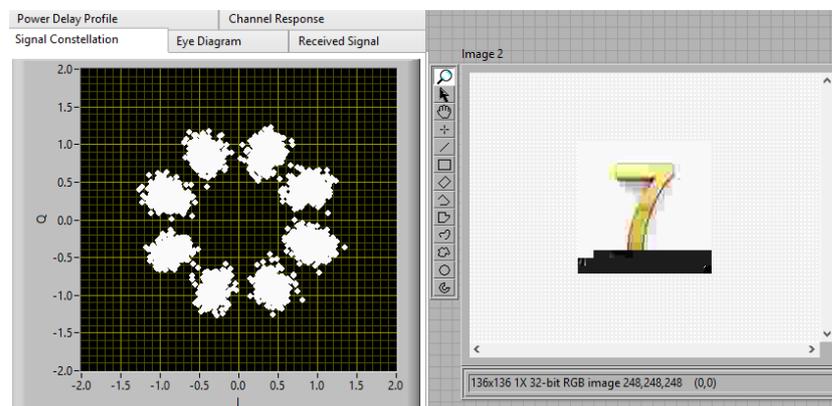


Figura 21: Recepción de Imagen Modulación 8PSK con ruido

A continuación se muestra los resultados para la Modulación QPSK y 8PSK Canal Real con tasa de codificación de canal $\frac{1}{2}$ en un ambiente simulado y real frente a variaciones de ruido.

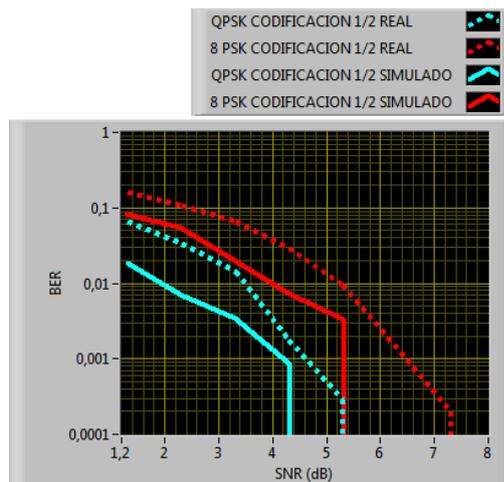


Figura 22: BER vs SNR. Resultado Simulado-Real QPSK y 8PSK con codificación 1/2.

En la figura 22 podemos observar que de acuerdo a diferentes valores de ruido y SNR se obtienen tasas de error de bit. El mejor comportamiento, entre un medio simulado y real con tasa de codificación de canal $\frac{1}{2}$, lo tiene la modulación QPSK simulado.

Ahora mostraremos los resultados para la Modulación QPSK y 8PSK Canal A outdoor con tasa de codificación de canal $\frac{1}{2}$ respecto a pruebas simuladas y reales con variaciones de ruido.

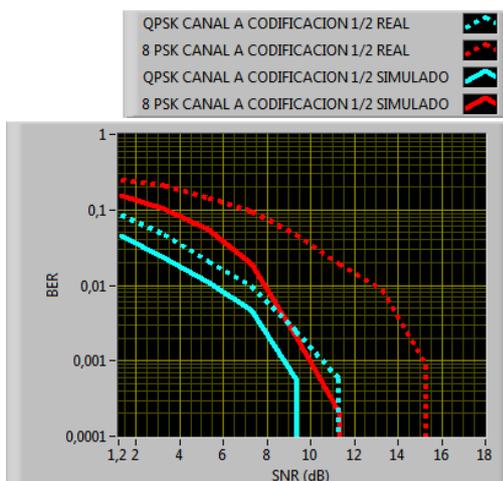


Figura 23: BER vs SNR. Resultado Simulado-Real CANAL A QPSK y 8PSK con codificación 1/2.

Como podemos apreciar en la figura 23 la curva continua de color turquesa representa a la modulación QPSK simulado con tasa de codificación de canal $\frac{1}{2}$, con un mejor desempeño frente a la presencia de ruido.

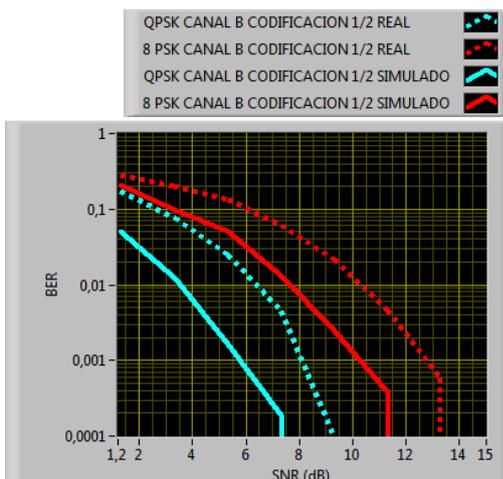


Figura 24: BER vs SNR. Resultado Simulado-Real CANAL B QPSK y 8PSK con codificación 1/2.

Esta prueba se realizó en base al canal B real y simulado con modulación QPSK y 8PSK, como se muestra en la figura 24, obteniendo un comportamiento similar donde la modulación QPSK simulado con tasa de codificación $\frac{1}{2}$, su curva tiende a caer con valores de BER más bajos.

2.1. Resultados para la Modulación QPSK y 8PSK

En esta parte hemos analizado el comportamiento de la modulación QPSK frente a 8PSK con respecto a los diferentes canales de estudio. Se ha determinado según la figura 25 que la modulación QPSK en un ambiente real indoor puede obtener mejores condiciones de transmisión en un ambiente ruidoso.

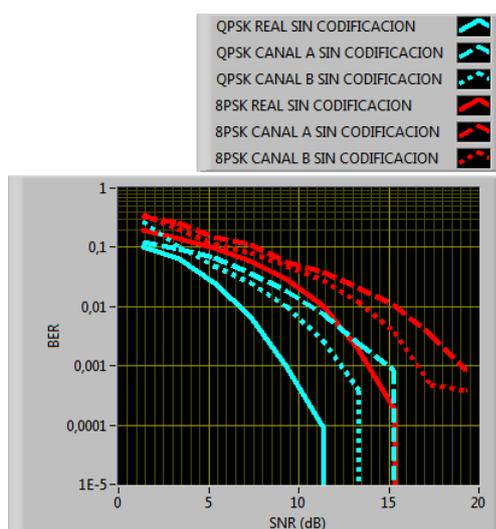


Figura 25: BER vs SNR. Resultado QPSK y 8PSK

2.2. Resultados para la Modulación QPSK y 8PSK con diferentes tasas de codificación

En el siguiente análisis se procedió a realizar pruebas en los diferentes canales y analizar los resultados al variar la tasa de codificación convolucional.

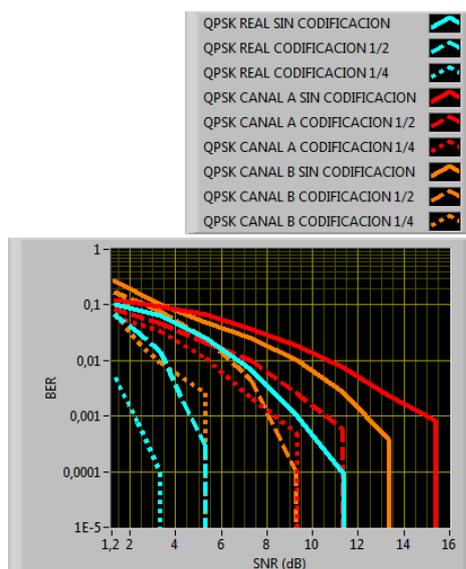


Figura 26: BER vs SNR. Resultado QPSK y 8PSK con codificación

En este experimento ilustrado en la figura 26 notamos que, en base a los diferentes canales reales, las curvas de las modulaciones QPSK y 8PSK con tasa de codificación de canal de $\frac{1}{4}$ frente a la de $\frac{1}{2}$ presentan un resultado óptimo frente a la variación de ruido presente en los canales.

2.3. Resultados para la Modulación QPSK y 8PSK Canal B

Este análisis se enfoca en verificar que canal tiene mejores condiciones al momento de transmitir la imagen.

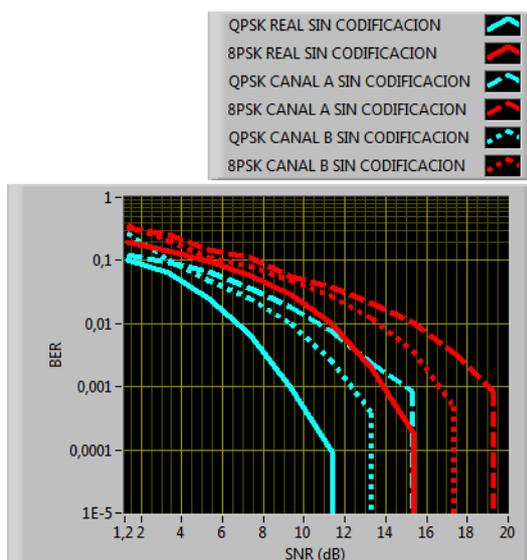


Figura 27: BER vs SNR. Resultado QPSK y 8PSK en diferente canales.

En la figura 27 podemos observar que el canal real es más adecuado al momento de transmitir nuestra imagen, ya que por ser un canal indoor presenta un mejor desempeño frente a los canales outdoor.

2.4 Resultados para la Modulación QPSK con tasa de bit R_b vs SNR

En este experimento se presentan los resultados obtenidos de la variación de la tasa de bits R_b vs. SNR, con una tasa de codificación convolucional de $\frac{1}{2}$.

Esta prueba nos ayuda para encontrar la misma probabilidad para recuperar la imagen a una tasa de bits adecuada.

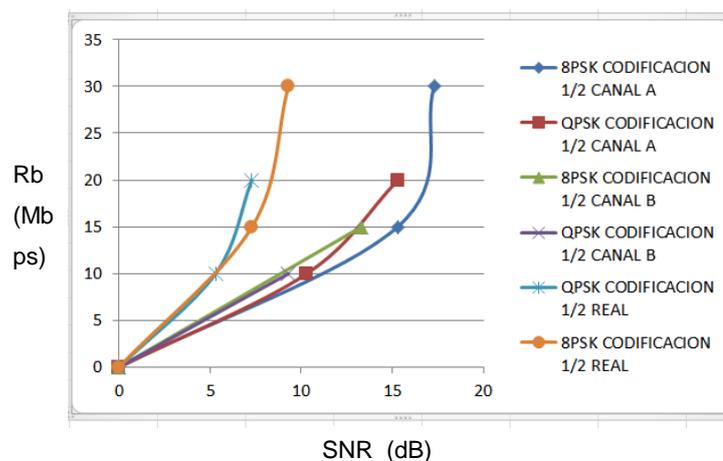


Figura 28: RB vs SNR. Resultado QPSK y 8 PSK con codificación de $\frac{1}{2}$.

En la figura 28 podemos observar que la modulación QPSK con tasa de codificación $\frac{1}{4}$ en un canal real indoor, tiene un buen desempeño del sistema soportando buena tasa de transmisión respecto a la tasa que se obtiene con valores de SNR bajos.

CONCLUSIONES

Con los resultados expuestos en este trabajo podemos concluir lo siguiente:

- Sistemas OFDM son bastante robustos a las variaciones del canal, cuando el número de sub-portadoras es bastante grande comparado con el ancho de banda del canal. Pero tiene una fuerte sensibilidad al off-set de frecuencia y de fase, en altas frecuencias.
- Al aumentamos el número de puntos en la constelación, de QPSK a 8PSK, mejoramos la eficiencia espectral pero esto produce problemas al receptor la misma señal transmitida, debido a que la distancia entre símbolos será menor y un ruido menor será capaz de causar errores en la recepción de la señal, por esa causa mientras menos símbolos tenga la constelación, mejor comportamiento tendrá frente al ruido.
- Con respecto a la velocidad de datos 8PSK logra una velocidad de dato más alta frente a una misma frecuencia que QPSK, debido a que 8PSK transmite más bits por ciclo en relación a QPSK.
- La finalidad de la codificación de canal es la detección y corrección de errores producidos en el canal de comunicación, como consecuencia del ruido y distorsión introducidos, tanto por el medio de propagación, como por las no linealidades en el propio sistema de transmisión.
- Para obtener la relación entre BER vs SNR, se varió el ruido desde menos infinito hasta cero en un canal AWGN para las pruebas de

simulación real y se utilizó un canal ISI para simulación tanto en canal A como en canal B.

- Para obtener la relación entre R_b vs SNR, se varió el ruido desde menos infinito hasta cero en un canal ISI para las pruebas de simulación real y se utilizó un canal ISI para simulación tanto en canal A como en canal B.
- Encriptar la información cada vez es más necesaria, es de vital importancia asegurar que la información viaje segura, la integridad de la información es una protección contra la alteración del mensaje de forma intencional o accidental.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manual de prácticas del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas FIEC-ESPOL
- [2] Comparación de sistemas CP-OFDM con ZP-OFDM. Capítulo 1: Introducción a OFDM.
- [3] B. A. Floreano y S. A. Jácome, "Mitigación del ISI (Interferencia Intersimbólica sobre un sistema WiMAX Fijo)", Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010.
- [4] <https://desvanecimientosradioenlaces.wikispaces.com/Tipos+de+Desvanecimiento>
- [5] <http://www.analfatecnicos.net/archivos/15.SistemasModulacionWikipedia.pdf>
- [6] <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/ads2004a/numeric/csnum0111.html>
- [7] <https://prezi.com/3ghmrkk0m2nj/codificacion-y-decodificaion-convolucional/>
- [8] R. W. Heath, Digital Communications- Physical Layer Exploration Lab Using The NI USRP Plataform, pp. 115-12.
- [9] Diseño, simulación e implementación de u esquena de detección de trama y de corrección del desplazamiento de frecuencia en un sistema de comunicación inalámbrica de una sola portadora. W. Espinoza y M. Freire
- [10] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Electronic/xor.html>
]

ANEXOS

ANEXO 1

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ADQUISICION DE LA IMAGEN TX

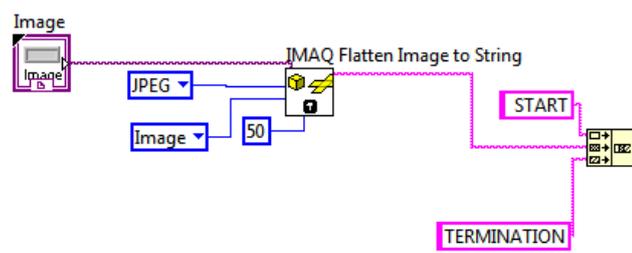
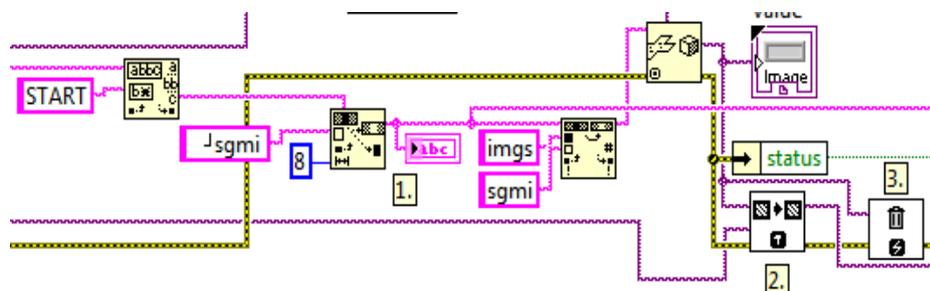


DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ADQUISICION DE LA IMAGEN RX



ANEXO 2

DIAGRAMA DE BLOQUE DE ENCRIPCIÓN

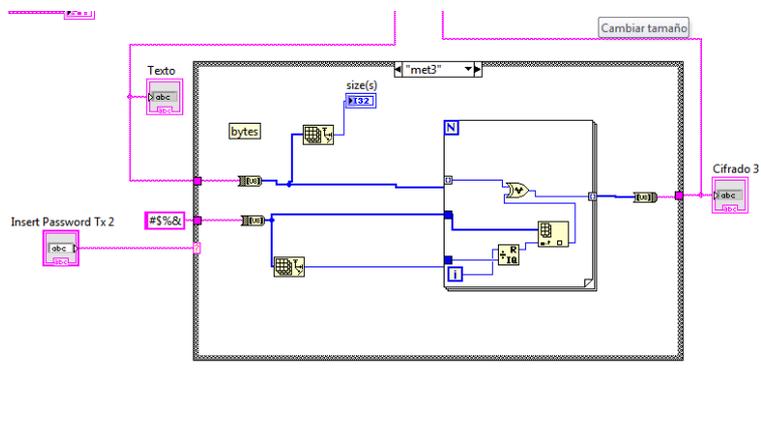
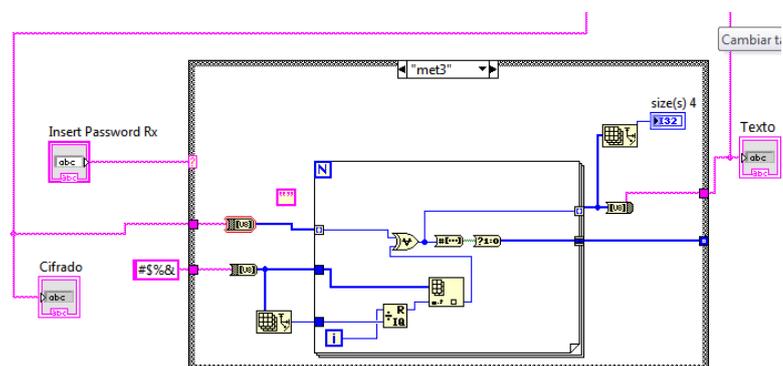


DIAGRAMA DE BLOQUE DE DESENCRIPTACIÓN



ANEXO 4

DIAGRAMA DE BLOQUE MODULADOR QPSK

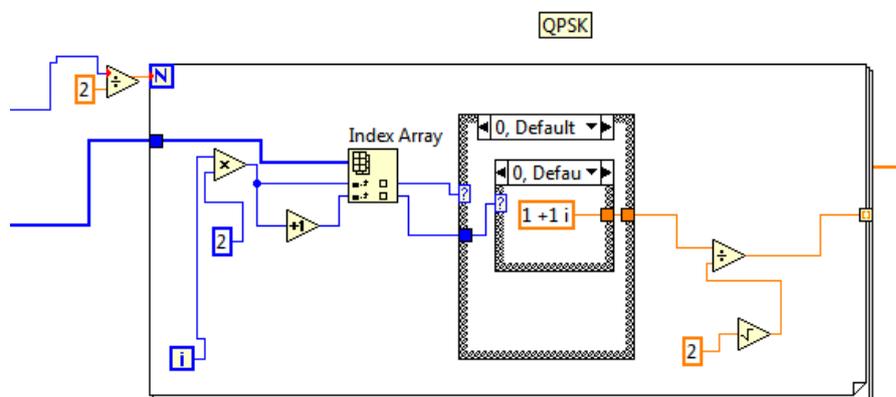
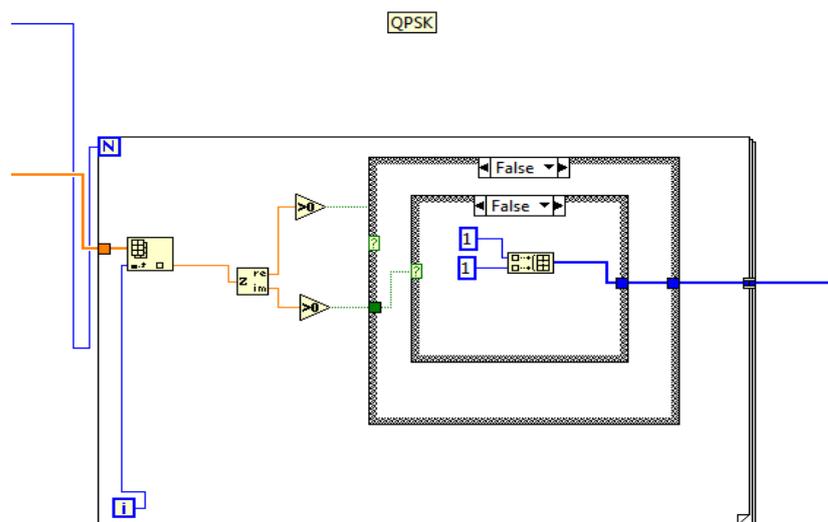


DIAGRAMA DE BLOQUE DEMODULADOR QPSK



ANEXO 5

DIAGRAMA DE BLOQUE MODULADOR 8PSK

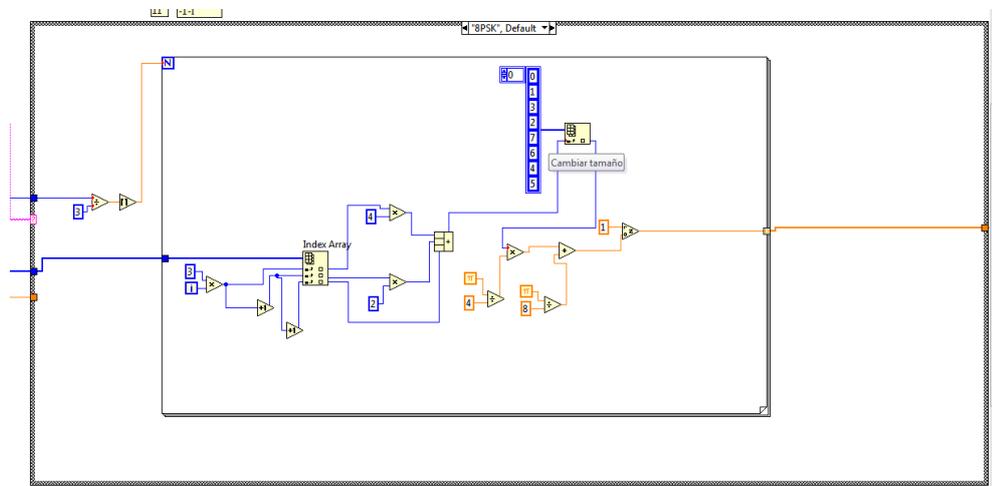


DIAGRAMA DE BLOQUE DEMODULADOR 8PSK

